

2580 0009

Etude des effets secondaires de la fertilisation minérale sur le sol dans des systèmes culturels à base de coton en Côte-d'Ivoire

Premiers résultats en matière de correction

G. SEMENT*

Mots clés: essais longue durée; fertilisation du sol; analyse de sol; sol ferrallitique; azote; calcium; magnésium; toxicité aluminium; pH; *Gossypium hirsutum*.

RÉSUMÉ

Les effets à moyen terme de doses de fumure croissantes ont été mesurés sur des sols ferrallitiques de Côte d'Ivoire, de qualités très variables notamment du point de vue des teneurs en matière organique et en azote total, et du complexe absorbant. Sur cet ensemble de sols, y compris les plus riches, les teneurs en Ca et Mg échangeables et le pH sont inversement proportionnels aux doses de fumures appliquées, et lorsque le pH est descendu en-dessous de 5, les teneurs en Al échangeable dépassant les seuils de toxicité couramment admis dans la littérature pour certaines plantes annuelles dont le cotonnier.

On note également que les pertes en Ca et Mg échangeables sont d'autant plus fortes que les sols sont riches en ces éléments. Dans le cas des savanes pauvres, l'efficacité des fumures sur cotonnier diminue au bout de 5 à 6 années, et même dès la 2^e année de remise en culture dans un sol très dégradé.

Dans celui-ci, des amendements relativement faibles, correspondant à 2 kg et à 4 kg de dolomie par kg d'azote-engrais cumulé, ont eu pour effets de redresser les teneurs en Ca et Mg échangeables, de diminuer les teneurs en Al échangeable, et d'augmenter de façon spectaculaire l'efficacité des fumures.

INTRODUCTION

En raison de la tendance inéluctable à la sédentarisation des cultures, l'un des principaux soucis de l'agronome doit être le maintien du potentiel du sol, pour lequel il faut avoir défini des systèmes conservateurs de la fertilité. La mise au point de ceux-ci nécessite, entre autres études, celles du bilan organique et minéral des sols.

Les résultats très nettement positifs obtenus jusqu'à maintenant grâce à la fertilisation minérale ne doivent pas nous faire perdre de vue ses effets secondaires sur les qualités du sol qui se manifestent à plus ou moins long terme. En effet, les engrais utilisés actuellement en Côte d'Ivoire, d'une façon générale pour la fertilisation des cultures de plein champ, et en particulier du cotonnier, sont à réaction acide: en plus des engrais azotés épanchés en «couverture», qui sont plus ou moins acidifiants suivant qu'il s'agit de sulfate d'ammoniaque ou d'urée (l'urée étant théoriquement 3,2 fois moins acidifiante à l'unité fertilisante), les engrais complexes, volontairement très concentrés pour un moindre

coût de transport et de stockage à l'unité fertilisante, ont eux aussi une réaction nettement acide, puisqu'ils sont à base d'ammoniac, d'acide sulfurique et de phosphate diammonique, tandis qu'ils contiennent assez peu de superphosphate simple (5 à 18% suivant les complexes); même le chlorure de potassium, qui entre dans leur composition, aurait un effet acidifiant, ainsi que l'a montré PÉRI (1976) au Sénégal.

Ces engrais n'entraînent l'augmentation des rendements attendue que dans un premier temps, d'autant plus long que le pouvoir tampon du sol est plus élevé; cet effet positif diminue ensuite progressivement, au fur et à mesure de l'acidification du sol et de la désaturation de son complexe absorbant.

Dans la première partie de cette étude, nous avons mesuré ces effets à moyen terme en les rapprochant de l'évolution de l'efficacité des engrais dans différentes conditions écologiques. Dans une deuxième partie, sont exposés nos premiers résultats en matière de correction obtenus dans un cas de dégradation du sol très marquée.

* Agronome I.R.C.T., Station de l'Institut des Savanes (Département des Plantes textiles), Bouaké, Côte d'Ivoire.

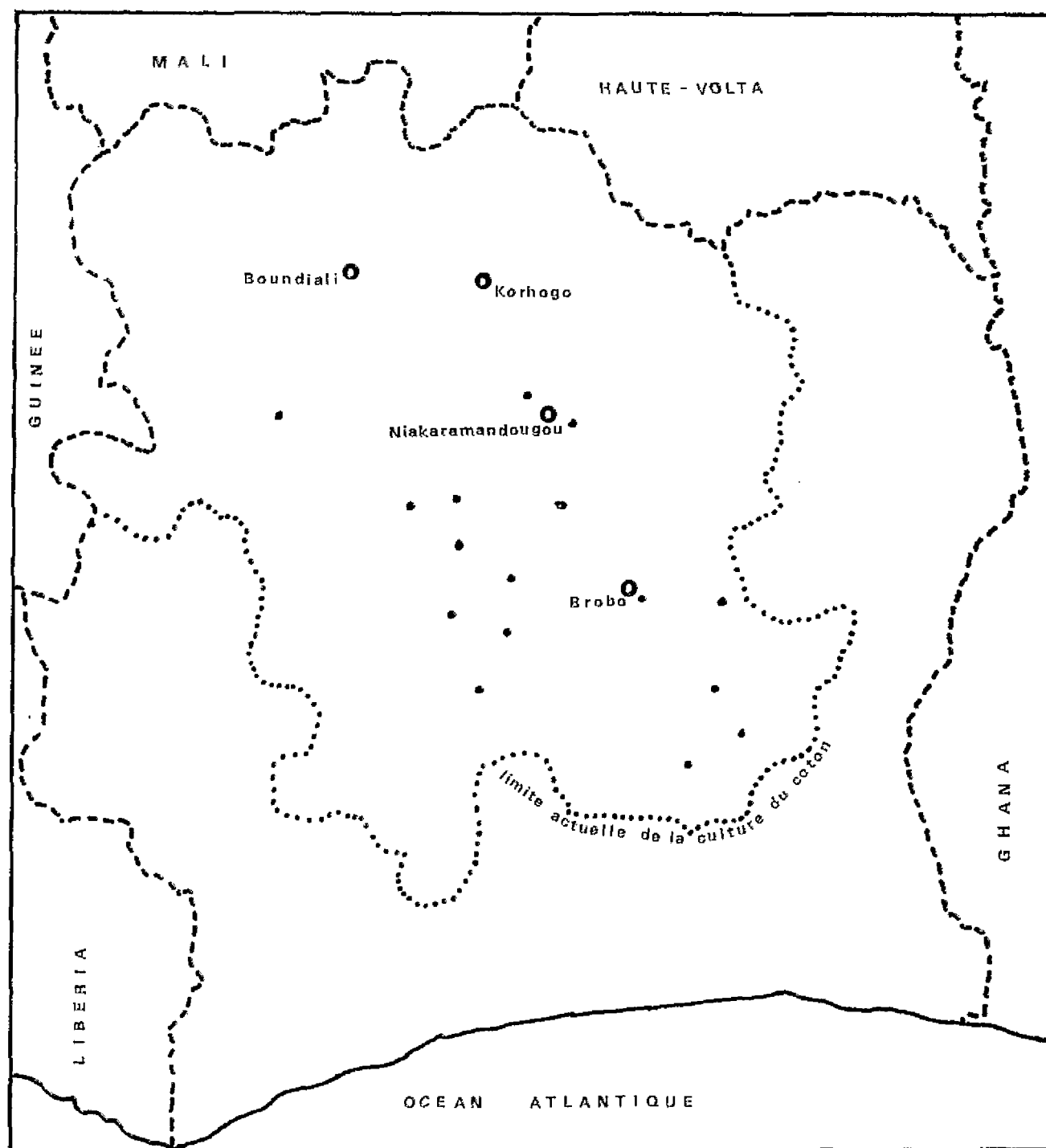


Figure 1. Zone cotonnière de Côte d'Ivoire et localisation des essais.

- Essais à dispositif statistique.
- • Essais chez les planteurs.

PREMIÈRE PARTIE

MATÉRIAUX ET MÉTHODES

Dans le cadre d'essais multilocaux de doses croissantes d'engrais et après plusieurs années, les caractéristiques des sols en fonction du niveau de fumure ont été observées :

1° D'une part, sur un essai en sol très pauvre ;

2° D'autre part, sur trois essais situés à des latitudes très différentes sur savanes pauvres mais de qualité moyenne pour la zone cotonnière de Côte d'Ivoire.

3° Enfin, sur un réseau d'essais simples, dispersés chez des planteurs dans la moitié Sud de la zone cotonnière, dans des sols de bonne qualité.

La localisation des essais est représentée sur la figure 1.

1. Cas d'un sol très pauvre

Il s'agit de l'essai de Korhogo, latitude 9° 28' N, longitude 5° 40', implanté en 1973 sur reprise de longue jachère, dans des conditions représentatives de la zone dense sénoufo, où les terrains ont été dégradés par une exploitation intense ; le sol est ferrallitique remanié, sur granite, induré, peu profond.

Dans cet essai, ainsi que dans l'ensemble dont il fait partie, les niveaux de fumure sont en progression arithmétique suivant les coefficients 0, 1, 2, 3, le niveau 2 correspondant à celui en cours de vulgarisation en culture « intensive ». Le dispositif est à 8 répétitions, avec des parcelles élémentaires de 60 m².

Les caractéristiques pédologiques ont été compa-

rées, en février 1976, au bout de trois années d'essai, avec les niveaux de fumure 0 et 3, ce dernier ayant cumulé en trois ans, à l'hectare : 280 kg de N, 186 de P₂O₅, 186 de K₂O, 220 de S, 26 de CaO, 7,5 de B₂O₃.

Les analyses de sol ont été faites sur deux échantillons pour chacun des niveaux de fumure 0 et 3, ces échantillons regroupant 24 prélèvements dans l'horizon 0 à 20 cm, répartis sur les 4 répétitions d'un même traitement.

2. Savanes de qualité moyenne

Dans l'ensemble d'essais dont fait partie celui de Korhogo, on a retenu les trois plus anciens, implantés en 1972 sur défrichement pour y observer, en fin de campagne 1977, les caractéristiques du sol en fonction du niveau de fumure. Il s'agit de :

— Boundiali, latitude 9° 31' N, longitude 6° 27', situé en sol ferrallitique remanié, sur schistes, peu profond ;

— Niakaramandougou, latitude 8° 42' N, longitude 5° 18', situé en sol ferrallitique typique, remanié, sur granite, peu profond appauvri ;

— Brobo, latitude 7° 40' N, longitude 4° 48', situé en sol ferrallitique, remanié, appauvri, sur granite, sableux avec horizon d'altération à faible profondeur.

Les successions culturales et les doses d'éléments fertilisants cumulés dans le niveau de fumure 3, au cours des six années, sont mentionnées dans le tableau 1.

Tableau 1. — Successions culturales sur les essais de Boundiali, Niakara et Brobo, et quantités d'éléments fertilisants cumulés au cours des six années, correspondant au niveau 3

Localisation	Boundiali	Niakara	Brobo
Année 1972	coton	coton	coton
1973	coton	coton	coton
1974	coton	coton	coton
1975	riz	arachide puis coton	maïs puis coton
1976	coton	maïs puis arachide	maïs puis soja
1977	coton	coton	arachide puis coton
Eléments cumulés au niveau 3 (en kg/ha)			
N	550	524	573
P ₂ O ₅	376	356	390
K ₂ O	390	430	471
S	381	365	411
CaO	86	88	93
MgO	18	18	18
B ₂ O ₃	30	34	40
N + P ₂ O ₅ + K ₂ O	1 316	1 310	1 434

Les analyses de sol ont été faites sur les quatre niveaux de fumure, à raison d'un échantillon par niveau et par essai, chaque échantillon regroupant 48 prélèvements dans l'horizon 0 à 20 cm, répartis sur les 8 répétitions d'un même traitement.

3. Sols plus riches de la moitié Sud de la zone cotonnière

Il s'agit d'un réseau d'essais sans répétitions, menés chez des planteurs et portant sur des niveaux de fumure 0, 2, 3, 4, en progression arithmétique. Les parcelles élémentaires étaient de 80 m². Ces essais avaient pour but l'étude de l'effet direct des doses de fumure sur le cotonnier, et de leur effet résiduel sur plantes vivrières dans les cas où il y avait une culture de première saison des pluies. Ils avaient été mis en place en 1974, la plupart après une ou plusieurs années de coton avec engrais, et ont été conduits jusqu'en 1977, en répétant chaque année les apports de fumure sur coton. Ceux-ci figurent dans le tableau 2.

Les analyses de sols ont été faites sur les quatre niveaux de fumure en fin de quatrième année (novembre 1977), à raison d'un échantillon par niveau

et par site (par essai ou dans certains cas par regroupement de deux essais), chaque échantillon étant constitué de 9 prélèvements (ou de 18 dans le cas de deux essais regroupés), dans l'horizon 0 à 20 cm.

RÉSULTATS

Avant de faire état des caractéristiques du sol suivant le niveau de fumure, il est utile d'examiner l'efficacité des fumures et son évolution; celle-ci est considérée uniquement sur les rendements en coton, puisqu'on dispose de trop peu de résultats sur les cultures vivrières qui répondent de façon beaucoup moins régulière que le cotonnier, parce que plus sensibles aux aléas climatiques.

Les trois situations exposées plus haut seront examinées successivement.

1. Sol très pauvre

Dans l'essai de Korhogo, la réponse à la fumure dès la deuxième année devenait telle que le rendement plafonnait à partir du niveau 1, avec une tendance à diminuer au niveau 3, comme on le voit sur le tableau 3.

Tableau 2. — *Apports cumulés d'éléments fertilisants sur les essais de fumure à doses croissantes chez les planteurs*

Éléments fertilisants	Niveaux de fumure		
	2	3	4
	kg/ha		
N	136	204	272
P ₂ O ₅	94	141	188
K ₂ O	108	162	216
S	106	159	212
CaO	15	22,5	30
B ₂ O ₃	8	12	16
Unités fertilisantes à l'ha (N + P ₂ O ₅ + K ₂ O)	338	507	676

Tableau 3. — *Evolution des rendements moyens et de l'efficacité des doses de fumure au cours des trois premières années sur l'essai de Korhogo*

	Niveau de fumure			
	0	1	2	3
1973 : Unités fertilisantes/ha (1)	0	54	107	161
Rendement (kg de coton-graine/ha)	839	1 136	1 319	1 468
Efficacité (kg de coton-graine/unité fertilisante)		5,87	4,49	3,91
1974 : Unités fertilisantes/ha	0	79	157	236
Rendement (kg de coton-graine/ha)	511	1 116	1 085	1 017
Efficacité (kg de coton-graine/unité fertilisante)		7,66	3,65	2,14
1975 : Unités fertilisantes/ha	0	85	169	254
Rendement (kg de coton-graine/ha)	594	1 184	1 228	1 155
Efficacité (kg de coton-graine/unité fertilisante)		6,94	3,75	2,21

(1) N + P₂O₅ + K₂O cumulés.

Les principales caractéristiques du sol, contrôlées en février 1976 sous les niveaux de fumure 0 et 3, figurent dans le tableau 4.

Ce sol sableux peut se définir comme pauvre en matière organique et en azote total, très pauvre en phosphore et en bases échangeables ainsi qu'en calcium total et en magnésium total, fortement à très fortement acide.

On constate que certaines caractéristiques du sol varient dans le sens du niveau de fumure; c'est le cas du phosphore et du potassium échangeables, ce qui est normal, compte tenu des apports par les engrais; d'autres varient fortement à l'inverse du niveau de fumure, c'est le cas du calcium et du magnésium échangeables, du calcium total et, par conséquent, du pH.

Quant à l'aluminium échangeable, sa teneur dans le cas du niveau de fumure 3 est six fois plus élevée qu'en l'absence de fumure: ceci est une conséquence habituellement observée de la désaturation du complexe absorbant en Ca et Mg.

2. Savanes ordinaires

On considère l'évolution comparée de l'efficacité des fumures aux niveaux 2 et 3 au cours des quatre dernières années, d'une part, sur les trois essais les plus anciens de Boundiali, Niakara et Brobo, qui sont suivis depuis 1972, d'autre part, sur la moyenne des 8 essais en coton qui composent l'ensemble du dispositif multilocal; cette évolution est présentée dans les tableaux 5 et 6 et les figures 2 et 3.

L'évolution moyenne de l'efficacité des fumures aux niveaux 2 et 3 au cours des quatre dernières années se traduit sur l'ensemble des essais par une augmentation qui correspond à une amélioration des variétés et des conditions culturales; dans les trois essais les plus anciens, on assiste, au contraire, à une baisse de l'efficacité à partir de la troisième année, ce qui nous a incité à rechercher par des analyses de sol les facteurs qui limitent cette efficacité. Les caractéristiques des sols en fonction du niveau de fumure, observées en fin de sixième année, sont présentées dans le tableau 7 et, pour certaines, dans les figures 4 et 5.

Tableau 4. — Analyse des sols sous fumures 0 et 3 après les trois premières années de l'essai de Korhogo, dans l'horizon 0 à 20 cm

Caractères analytiques	Niveau de fumure					
	0			3		
	Répétitions			Répétitions		
	I à IV	V à VIII	Moyenne	I à IV	V à VIII	Moyenne
Granulométrie						
% éléments grossiers (2 mm)						2,4 16,8
Argile + limon (% terre tamisée)						
Matière organique (%)	1,41	1,48	1,445	1,71	1,69	1,70
N total (%)	0,46	0,56	0,52	0,62	0,59	0,605
C/N	12,0	10,22	11,11	10,10	12,97	11,535
P total (ppm)	250	110	180	250	250	250
P Olsen (ppm)	13	13	13	20	49	34,5
pH (eau)	5,0	5,0	5,0	4,6	4,4	4,5
Bases échangeables (még./100 g)						
Ca	0,80	0,64	0,72	0,50	0,30	0,40
Mg	0,34	0,30	0,32	0,10	0,10	0,10
K	0,08	0,07	0,075	0,13	0,11	0,12
Somme des bases échangeables	1,27	1,04	1,155	0,73	0,54	0,635
Capacité d'échange T	4	3,8	3,9	3,3	3,6	3,45
Saturation V = 100 S/T	31,75	27,37	29,56	22,12	15,00	18,56
Al éch. (még./100 g)	0,03	0,07	0,05	0,28	0,33	0,30
Bases totales (%)						
Ca	0,31	0,46	0,385	0,23	0,19	0,21
Mg	0,28	0,21	0,245	0,21	0,21	0,21
K	1,20	1,04	1,12	1,04	1,04	1,04
Ca éch./Mg éch. (en még./100 g)	2,35	2,13	2,24	5	3	4
(Ca éch. + Mg éch.)/K éch.	14,25	13,43	13,84	4,62	3,64	4,13
Mg éch./K éch.	4,25	4,29	4,27	0,77	0,91	0,84
(SBE)/(A + L)	0,10	0,06	0,08	0,03	0,02	0,025
Al × 100/CBC	0,75	1,84	1,30	8,48	9,17	8,82
Al × 100/(Al + SBE)	2,31	6,31	4,31	25,23	37,93	31,58

Tableau 5. — Evolution de l'efficience de la fumure au niveau 2, exprimée en kg de coton obtenus par unité fertilisante, en supplément du rendement du niveau 0

Emplacement	Années			
	1974	1975	1976	1977
	Unités fertilisantes/ha			
Boundiali	155	163	163	170
Niakara	6,64	(riz)	6,26	5,69
Brobo	4,32	4,59	(maïs)	4,20
Moyenne des 8 essais en coton	6,45	5,20	(maïs-arachide)	4,64
	4,04	4,67	4,95	4,97

Tableau 6. — Evolution de l'efficience de la fumure au niveau 3, en kg de coton par unité fertilisante

Emplacement	Années			
	1974	1975	1976	1977
	Unités fertilisantes/ha			
Boundiali	233	245	245	255
Niakara	5,87	(riz)	4,31	4,00
Niakara	4,38	5,20	(maïs)	4,15
Brobo	6,04	5,86	(maïs-arachide)	4,02
Moyenne des 8 essais en coton	3,45	3,56	3,98	4,20

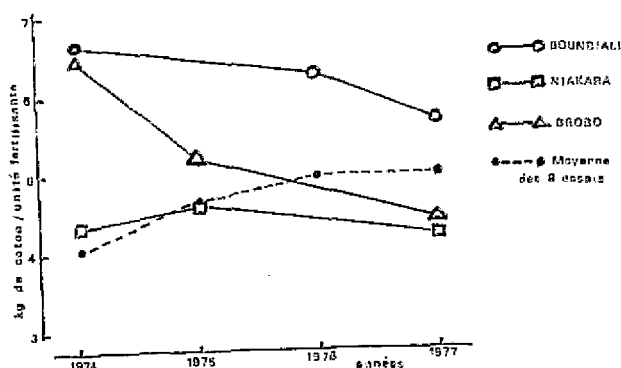


Fig. 2. — Evolution de l'efficience de la fumure au niveau 2.

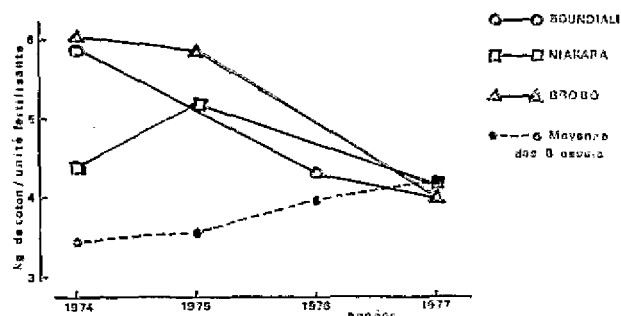


Fig. 3. — Evolution de l'efficience de la fumure au niveau 3.

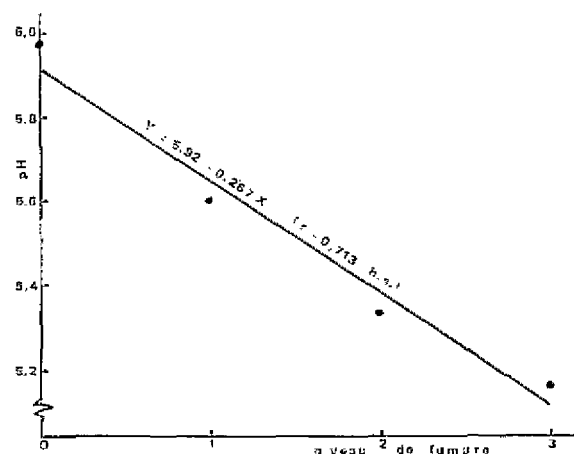


Fig. 4. — Valeurs moyennes des pH sur 3 essais de doses de fumure en 6^e année (Boundiali, Niakara, Brobo).

Le pH du sol est en relation inverse avec le niveau de fumure suivant l'équation :

$$Y = 5,92 - 0,267 X, \text{ avec } r = 0,713 \text{ (h.s.)}$$

Les teneurs en Mg échangeable sont également en relation inverse avec le niveau de fumure, suivant l'équation :

$$Y = 0,57 - 0,084 X, \text{ avec } r = 0,82 \text{ (h.s.)}$$

Quant à la diminution de la teneur en Ca échangeable, elle ne peut être assimilée significativement

Tableau 7. — Caractéristiques des sols prélevés sur 3 essais pérennes de doses croissantes de fumures après 6 ans d'expérimentation

Emplacement	(Sur échantillon moyen des 4 niveaux)																		
	A + L	Matière organique	N total	P total	P Olsen	Niveau de fumure	pH (eau)	Ca éch.	Mg éch.	K éch.	SBE (1)	SBE × 100 CEC	Al éch.	Ca Mg	Ca + Mg K	Mg K	(SBE) ² A + L	Al × 100 CEC	Al × 100 Al + SBE
	%	%	%	ppm	ppm	meq/100 g de sol													
Boundiali	30,09	1,48	0,84	150	33	0	5,6	1,08	0,66	0,05	1,82	47,9	0,02	1,64	34,8	13,20	0,11	0,53	1,09
						1	5,3	1,00	0,56	0,07	1,64	36,4	0,13	1,79	22,3	8,00	0,09	2,89	7,34
						2	4,9	0,78	0,42	0,20	1,39	34,8	0,54	1,86	6,0	2,10	0,06	13,50	27,98
						3	4,7	0,58	0,36	0,35	1,33	29,6	0,66	1,61	2,7	1,03	0,06	14,67	33,17
Niakara	19,10	2,02	0,98	305	62	0	6,2	2,18	0,60	0,11	2,90	49,2	0,01	3,63	25,3	5,45	0,44	0,17	0,34
						1	5,9	2,10	0,52	0,30	2,93	65,1	traces	4,04	8,7	1,73	0,45	—	—
						2	5,6	1,64	0,36	0,12	2,13	47,3	0,02	4,55	16,7	3,00	0,24	0,44	0,93
						3	5,4	1,08	0,32	0,26	1,68	48,0	0,04	3,38	5,4	1,23	0,15	1,14	2,33
Brobo	13,17	2,02	0,76	165	47	0	6,1	1,24	0,44	0,21	1,92	96,0	traces	2,82	8,0	2,10	0,28	—	—
						1	5,6	1,14	0,42	0,24	1,81	50,3	traces	2,71	6,5	1,75	0,25	—	—
						2	5,5	0,54	0,30	0,34	1,19	37,2	0,02	1,80	2,5	0,88	0,11	0,63	1,65
						3	5,4	0,82	0,32	0,20	1,36	50,4	0,06	2,56	5,7	1,60	0,14	2,22	4,23
Moyenne					0	5,97 A	1,50 a	0,57 A	0,12	2,21 a	56,7		2,63	22,7	6,92	0,28			
					1	5,60 B	1,41 a	0,50 A	0,20	2,13 a	50,7		2,82	12,5	3,83	0,26			
					2	5,33 C	0,99 b	0,36 B	0,22	1,57 b	40,3		2,75	8,4	1,99	0,14			
					3	5,17 C	0,83 b	0,33 B	0,27	1,46 b	40,9		2,52	4,6	1,29	0,12			
Coefficient de variation							1,6 %	17,9 %	9,3 %	54,7 %	12,6 %								
							0,271		0,124										
d.s. à P = 0,01								0,422			0,462								
d.s. à P = 0,05																			

(1) : y compris Na.

(a, b, c) : les chiffres suivis de la même lettre ne sont pas différents au niveau P = 0,05, suivant le test de Duncan.

(A, B, C) : les chiffres suivis de la même lettre ne sont pas différents au niveau P = 0,01, suivant le test de Duncan.

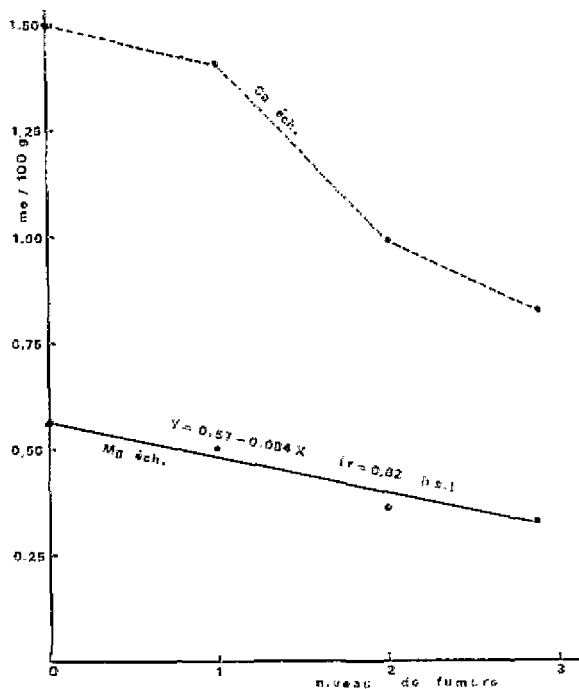


Fig. 5. — Teneurs moyennes du sol sur 3 essais de doses de fumure en 6^e année (Boundiali, Niakara, Brobo).

à une droite de régression en fonction de la dose de fumure mais, aux niveaux 2 et 3, les teneurs sont significativement inférieures à celles des niveaux 0 et 1.

La teneur en Al échangeable augmente avec le niveau de fumure, mais ceci n'est vraiment grave qu'à Boundiali où le pH et le taux de saturation par les cations majeurs sont les plus bas.

3. Sols de la moitié Sud de la zone cotonnière

Dans le réseau d'essais d'engrais réalisés chez les planteurs, la réponse à la fumure aux niveaux 3 et 4 s'est légèrement améliorée entre la deuxième et

la quatrième année, comme on peut le voir sur le tableau 8 (l'efficacité en troisième année était la meilleure, mais les pluies s'étaient arrêtées exceptionnellement tard).

Le tableau 9 montre, en effet, que ces sols présentent des caractéristiques permettant une réponse correcte à la fumure pendant une plus longue période que les sols étudiés précédemment à Boundiali, Niakara et Brobo. Les pH et les teneurs en bases échangeables ont été analysés par niveau de fumure. Les teneurs en aluminium échangeable n'ont pas été déterminées : dans cette gamme de pH, il est en effet tout à fait improbable qu'elles puissent atteindre le niveau de toxicité.

Bien que les teneurs en calcium et en magnésium échangeables soient moyennes (en savanes ordinaires) ou fortes (en forêt ou savane à *P. purpureum*) et que les pH soient neutres, on observe des différences significatives : les figures 6 et 7 montrent que le pH est en relation inverse avec le niveau de fumure suivant l'équation : $Y = 6,995 - 0,152 X$, avec $r = 0,546$ h.s. ; quant aux teneurs en Ca et Mg échangeables en fonction du niveau de fumure, elles sont insuffisamment précises pour être assimilées significativement à des droites de régression, mais elles présentent des différences significatives à l'inverse des niveaux de fumure.

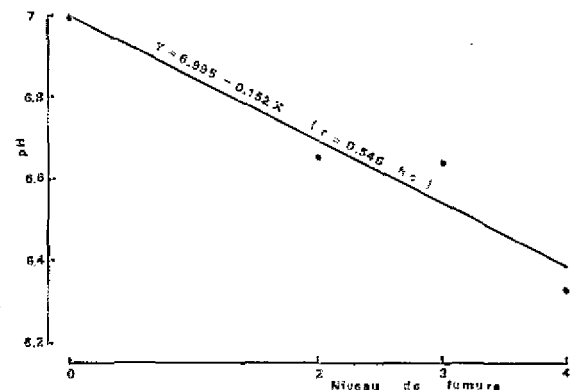


Fig. 6. — Valeurs moyennes des pH sur les essais de fumure chez les planteurs en 4^e année.

Tableau 8. — Evolution de l'efficacité moyenne des doses de fumure 3 et 4 au cours des 2^e, 3^e et 4^e années d'essais chez les planteurs (en kg de coton-graine par unité fertilisante)

Niveau de fumure	Conditions	Années		
		2 ^e (1975)	3 ^e (1976)	4 ^e (1977)
3 (126 UF/ha)	Savanes à graminées moyennes (1)	4,33	5,38	4,73
	Sols plus humifères (2)	3,25	4,39	3,98
4 (170 UF/ha)	Savanes à graminées moyennes	3,92	4,60	4,03
	Sols plus humifères	3,02	4,24	3,34

(1) et (2) : Dans chacun des cas, on a regroupé 5 sites sur savanes à graminées moyennes et 5 sites sur sols de forêt ou de savane à *Pennisetum purpureum*.

Tableau 9. — Caractéristiques moyennes des sols suivant le niveau de fumure, dans les essais chez les planteurs

Valeurs moyennes	A + L	Mat. org.	N total	P total	P Olsen	Niveau de fumure	pH (eau)	Bases échangeables en méq/100 g				SBE × 100 CEC	Ca Mg	Ca + Mg K	Mg K	(SBE) ² A + L
								Ca	Mg	K	SBE (1)					
	%	%	%	ppm	ppm											
des 5 sites sur savanes à graminées moyennes	21	2,7	1,2	290	40	0	6,72	4,27	1,17	0,28	5,76	100	3,65	22,4	4,40	2,02
						2	6,46	3,75	0,93	0,26	4,97	94,5	4,03	17,4	3,50	1,26
						3	6,26	3,26	0,75	0,26	4,29	81,3	4,35	15,4	2,82	0,94
						4	6,12	3,49	0,81	0,27	4,60	83,3	4,31	11,8	3,00	1,04
des 5 sites en sol de forêt ou de savane à <i>P. purpureum</i>	33	3,8	1,8	410	63	0	7,26	8,38	1,67	0,37	10,44	100	5,02	23,0	4,41	3,44
						2	6,84	7,24	1,52	0,50	8,29	100	4,76	17,8	3,13	2,68
						3	7,02	6,98	1,34	0,44	8,83	100	5,21	18,3	2,83	2,39
						4	6,54	6,72	1,23	0,40	8,38	99,1	5,46	19,3	3,03	2,20
des 10 sites						0	6,99 A	6,33 a	1,42 a	0,33 a	8,10 a	100	4,46	22,7	4,40	2,73
						2	6,65 B	5,50 ab	1,23 b	0,28 a	7,13 ab	100	4,47	17,6	3,31	1,97
						3	6,64 B	5,12 b	1,04 c	0,35 a	6,56 b	97,8	4,92	16,8	2,82	1,66
						4	6,33 C	5,10 b	1,02 c	0,34 a	6,49 b	92,8	5,00	15,6	3,01	1,62
Coefficient de variation							3,0 %	18,6 %	16,4 %	24,2 %	16,8 %					

(1) : y compris Na.

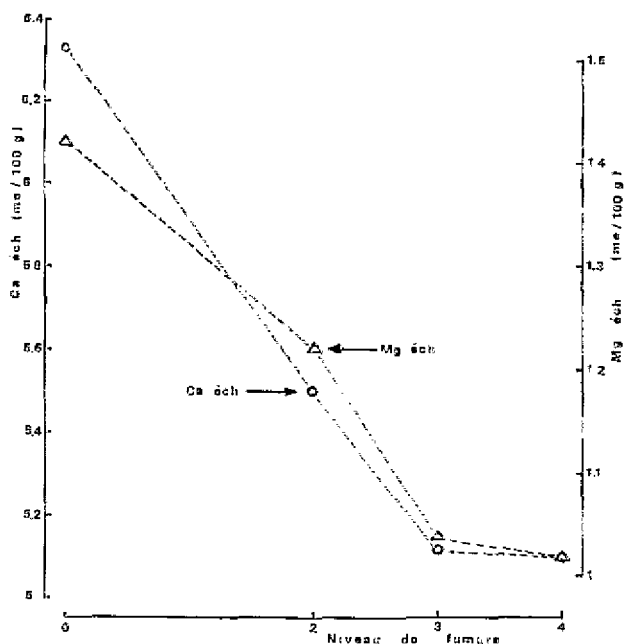


Fig. 7. — Teneurs moyennes du sol sur les essais de fumure chez les planteurs en 4^e année.

DISCUSSION

La baisse du pH et des teneurs en cations échangeables par le seul fait de la mise en culture du sol et ensuite sous l'effet des engrais à réaction acide est un phénomène bien connu. En l'absence d'analyse de sol à la mise en place des essais, nous ne pouvons pas mesurer l'évolution de ces caractéristiques au cours des années de culture. Ce que nous avons mesuré ne concerne que les effets résultant d'apports d'engrais cumulés en quantités variables par rapport à l'absence d'engrais, et nous les proposons comme explication à la baisse d'efficacité des fumures, constatée au bout de quelques années dans certaines conditions.

Ayant mis en évidence que les pH et les teneurs en Ca échangeable du sol sont inversement proportionnels aux doses d'engrais, on peut écarter d'éventuels excès de fumure comme étant la cause unique de l'acidification et de la désaturation.

On pourrait s'attendre à trouver dans les sols du Sud de la zone cotonnière une chute du pH et des pertes en Ca et Mg moins fortes à fumure égale que dans les sols du Nord qui font l'objet d'un drainage plus important : ces derniers reçoivent annuellement 1400 mm de pluie dont 1100 sont concentrés sur 5 mois, les précédents en recevant 1200 mm par an dont 1000 sont concentrés sur 7 mois. Mais il se trouve que les sols du Nord, beaucoup moins saturés en bases échangeables, les perdent moins facilement : en effet, les pertes en Ca et Mg échangeables sont

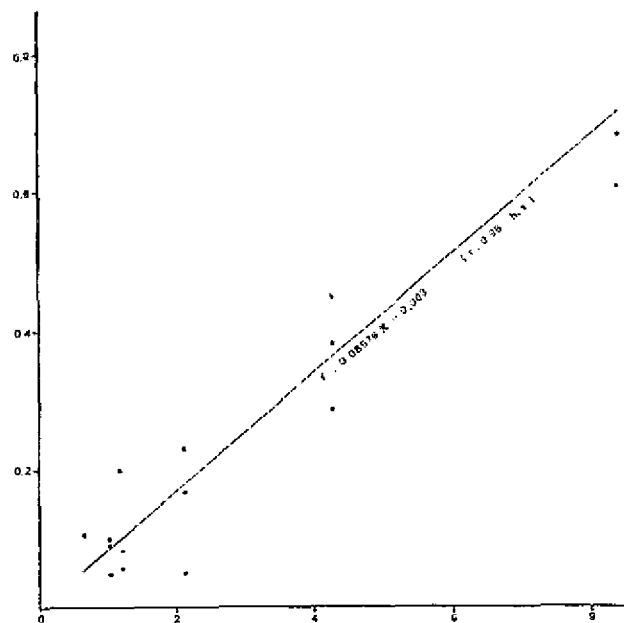


Fig. 8. — Pertes du sol en Ca échangeable sous l'effet de 100 kg/ha d'azote-engrais.

fonction de la richesse du sol en cet élément et, comme le montrent les figures 8 et 9, pour chaque apport de 100 kg d'azote-engrais on diminue de 8,6 % le stock de Ca échangeable et de 9,9 % le stock

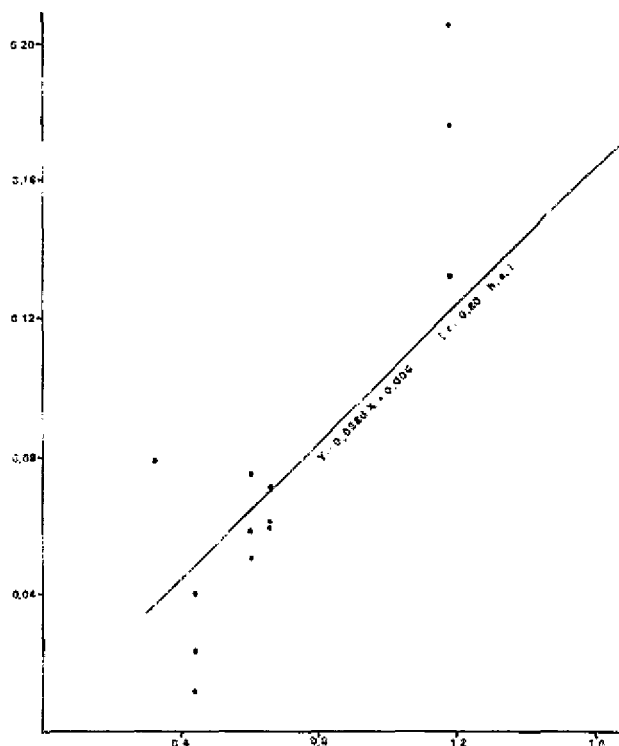


Fig. 9. — Pertes du sol en Mg échangeable sous l'effet de 100 kg/ha d'azote-engrais.

de Mg échangeable, quelle que soit la richesse du sol en ces éléments ; or, les teneurs des sols observés variaient sans fumure, du plus pauvre aux plus riches, dans une proportion de 1 à 11,6 pour Ca et de 1 à 5,2 pour Mg.

Il est à remarquer que les diminutions des teneurs en Ca et en Mg échangeables du sol sont de beaucoup supérieures aux exportations par les récoltes et par les résidus de culture non restitués. En effet, si l'on prend l'exemple des essais de Boundiali, Niakara et Brobo, les différences entre les teneurs moyennes au niveau de fumure 3 et au niveau 0 dans les 20 premiers centimètres de sol se chiffrent à 600 kg de CaO et à 153 kg de MgO à l'hectare, en estimant la densité du sol à 1,6 ; or, les exportations moyennes par les récoltes obtenues pendant 6 années sur ces essais et par les résidus présentent entre les niveaux de fumure 3 et 0 des différences que l'on évalue à 80 kg de CaO et à 45 kg de MgO à l'hectare (DIAT *et al.*, 1976 ; SÉMENT et FONTENAY, 1976 et 1977), soit respectivement 13 % et 29 % des différences constatées sur les pertes du sol. Il faut donc admettre que la plus grande part des pertes est à attribuer aux litiations. C'est d'ailleurs ce qui est observé d'une façon générale (PIERI, 1976).

Si l'on compare certaines des caractéristiques observées, ou certains indices fondés sur des rapports entre plusieurs caractéristiques, avec les valeurs indiquées par la littérature comme étant des limites en dehors desquelles les plantes réduisent leur croissance ou leur rendement (voir tableaux 10 à 17), on constate que :

— A Korhogo : en l'absence de fumure, les limites inférieures sont dépassées, légèrement pour le pH,

nettement pour le Ca échangeable, très nettement pour le rapport $(SBE)^2/(A + L)$; au niveau de fumure 3, le pH, le Ca échangeable, le rapport Mg/K et le rapport $(SBE)^2/(A + L)$ sont très en dessous des limites inférieures, le Mg échangeable atteint la limite inférieure, tandis que la teneur en Al échangeable et son importance par rapport aux cations majeurs ont dépassé les limites de toxicité établies pour certaines plantes, et en particulier pour le cotonnier. Il n'est donc pas étonnant que, dans ce sol dégradé, la diminution de l'efficacité des fumures se soit produite de façon très nette dès la deuxième année de remise en culture.

— A Boundiali, Niakara et Brobo, après 6 ans de fumure « forte », les limites inférieures sont atteintes ou dépassées quant au pH, dépassées quant à la teneur en Ca échangeable, nettement dépassées quant aux rapports Mg/K et $(SBE)^2/(A + L)$; l'Al échangeable dépasse le seuil de toxicité aux niveaux de fumure 2 et 3 à Boundiali où le pH est tombé en dessous de 5, mais non à Niakara et à Brobo où la teneur en Ca et les rapports Mg/K et $(SBE)^2/(A + L)$ seraient les principales causes de la baisse d'efficacité des fumures.

— Dans les essais chez les planteurs de la moitié Sud de la zone cotonnière, aucune des limites n'est atteinte avec la fumure du niveau 4 après 4 ans d'essai, soit après 5 ou 6 ans de culture fumée : les caractéristiques chimiques, bien que sensiblement dégradées par les engrais, se trouvent encore suffisamment bonnes, surtout en sols de forêt ou de savanes à *P. purpureum*, pour que la baisse d'efficacité n'intervienne pas à court terme.

Tableau 10. — Limite inférieure au-delà de laquelle le pH du sol réduit la croissance ou le rendement des plantes

pH	Culture	Conditions	Auteurs
6	Manioc	« Terre de Barre » (Togo)	DABIN, cité par BOYER (1978)
6	Riz irrigué	Alluvions récentes (Mali)	DABIN, cité par BOYER (1978)
5,4	Cotonnier	Plaines côtières (Alabama)	ADAMS, PEARSON et DOSS (1967)
5	Cotonnier	Rhodic paleudult (Alabama)	DOSS et LUND (1975)
(en surface)			
5,6	Cotonnier		
(en profondeur)			
5,4	Cotonnier	« Bladen clay loam »	Foy <i>et al.</i> (1967)
5,1	Cotonnier	Alluvions récentes (Mali)	DABIN, cité par BOYER (1978)
5	Cotonnier	Sols ferrallitiques (Côte d'Ivoire)	BOUCHY, cité par BOYER (1978)
5	Cotonnier	Latosols (Centre Brésil)	BOYER (1978)
5,1	Cotonnier	Alluvions récentes (Madagascar)	KILIAN, cité par BOYER (1978)
5,1	Cotonnier	? (Uganda)	FOSTER, cité par BOYER (1978)
5,5	Arachide	Sols ferrugineux tropicaux (Sénégal)	PIERI (1976)
5,4	Maïs	Ultisols (Sud Nigeria)	JOO et BALLAUX (1977)
5,4	Maïs	Ultisols (Puerto-Rico)	
5,3	Haricot	Ultisols et oxisols (Puerto-Rico)	
5 à 5,5	Maïs	Oxisols (Puerto-Rico)	ABRUNA <i>et al.</i> , cités par PEARSON (1975)

Tableau 11. — *Teneur limite en Ca échangeable du sol en dessous de laquelle la croissance ou le rendement diminue*

Ca échangeable meq/100 g	Culture	Conditions	Auteurs
1,5	Arachide	Sols ferrugineux tropicaux et ferrallitiques (Sud Sénégal)	FAUCK, cité par BOYER (1978)
1,3	Arachide	Sols sableux (Israël)	LACHOVER, cité par BOYER (1978)
2	Arachide	Sols argileux (Congo)	MARTIN, cité par BOYER (1978)

Tableau 12. — *Teneur limite en Mg échangeable du sol en dessous de laquelle la croissance ou le rendement diminue*

Mg échangeable meq/100 g	Culture	Conditions	Auteurs
0,10	Maïs	Sols ferrallitiques (Madagascar)	CELTON, ROCHE et VELLY, cités par BOYER (1978)
0,14	Maïs	Sols ferrallitiques (République Centrafricaine)	PICHOT, TRUONG et BURDIN, cités par BOYER (1978)
0,17	Maïs	Sols ferrugineux tropicaux et ferrallitiques (Nigeria)	LOMBIN et FAYEMI, cités par BOYER (1978)
0,10	Arachide	Sols ferrugineux tropicaux (Sénégal)	PIÉRI (1976 [b])

Tableau 13. — *Valeur limite du rapport Mg éch./K éch. du sol en dessous de laquelle la croissance ou le rendement diminue*

Mg/K	Culture	Conditions	Auteurs
3	Cotonnier	Sols ferrugineux tropicaux (Cameroun)	FRITZ et VALLÉRIE, cités par BOYER (1978)
3	Cotonnier	Sols ferrallitiques (Côte d'Ivoire)	DABIN, cité par BOYER (1978)
2,1 à 3	Caféier	Sols ferrallitiques (République Centrafricaine)	FORESTIER, cité par BOYER (1978)

Tableau 14. — *Valeur limite du rapport (SBE)/(A + L) en dessous de laquelle la croissance ou le rendement diminue*

$\frac{(SBE)^2}{A + L}$	Culture	Conditions	Auteurs
0,3	Cotonnier	Sols ferrallitiques (Côte d'Ivoire)	LATHAM, cité par BOYER (1978)
0,4	Caféier	Sols ferrallitiques (République Centrafricaine)	FORESTIER, cité par BOYER (1978)

Tableau 15. — *Teneur limite en Al échangeable du sol au-delà de laquelle la croissance ou le rendement diminue*

Al échangeable	Culture	Conditions	Auteurs
meq/100 g			
0,27	Cotonnier	Sols ferrallitiques (Madagascar)	VELLY (1974)
0,10 à 2,5	Cotonnier		ADAMS et LUND, cités par REEVE et SUMNER (1970)
0,09	Soja	Red yellow podzolic soils	MOSCHLER, cité par REEVE et SUMNER (1970)
0,45-0,66	Arachide	Sols ferrallitiques (Madagascar)	VELLY (1974)
1,30-1,40	Maïs	Sols ferrallitiques (Madagascar)	VELLY (1974)
0,27-0,54	Riz	Sols hydromorphes (Vietnam)	SÉGALEN, cité par BOYER (1978)

Tableau 16. — *Taux de saturation de l'Al éch. ($Al \times 100/CEC$) limite au-delà duquel la croissance ou le rendement diminue*

$\frac{Al \times 100}{CEC}$	Culture	Conditions	Auteurs
5 à 30	Cotonnier	Sud USA et Puerto-Rico	ADAMS et al. (1967)
20	Cotonnier et soja	{ pH < 5, ultisols (N. Carolina)	KAMPRATH (1970)
44	Maïs		
40	Maïs	{	SANCHEZ (1976)
15	Sorgho		
33	Maïs	Ultisols (Sud Nigeria)	{ JUO et BALLAUX (1977) ABRUNA et al., cités par PEARSON (1975)
5 à 10	Maïs	Ultisols (Puerto-Rico)	
10 à 20	Maïs	Oxisols (Puerto-Rico)	
5 à 10	Haricot	Ultisols et oxisols (Puerto-Rico)	

Tableau 17. — *Rapport $Al \times 100/Al + SBE$ limite au-delà duquel la croissance ou le rendement diminue*

$\frac{Al \times 100}{Al + SBE}$	Culture	Conditions	Auteurs
10	Cotonnier	{ pH < 5, ultisols (N. Carolina)	KAMPRATH (1970)
20	Soja		
45	Maïs		
33	Arachide	{ Sols ferrugineux trop. (Sénégal)	PIÉRI (1976)
23	Rhizobium de l'arachide		

CONCLUSION

Les engrais utilisés en Côte d'Ivoire pour la fertilisation des systèmes de culture à base de cotonnier provoquent dans le sol un déséquilibre qui se traduit essentiellement par une diminution du calcium et du magnésium dans le complexe absorbant, et par conséquent du pH; cette diminution est proportionnelle aux doses de fumure, y compris dans les sols à pH neutre et relativement riches. Les pertes en Ca et Mg échangeables sont en relation directe avec la richesse du sol en ces éléments, et sont, pour la plus grande part, dues à la lixiviation.

On constate en outre que, lorsque le pH descend au-dessous de 5, les teneurs en aluminium échangeable atteignent le niveau de toxicité pour le cotonnier ainsi que pour d'autres plantes annuelles cultivées dans la rotation.

Cette évolution est telle qu'au bout de 6 années de culture fertilisée en savanes de qualité moyenne, et beaucoup plus rapidement dans les savanes très pauvres, les caractéristiques des sols se situent à la limite ou au-delà des seuils de fertilité couramment admis. Elle suffit à expliquer la diminution de l'efficacité des fumures qui a été observée dans les essais lorsque le pouvoir tampon des sols est faible, comme c'est le cas d'une grande partie des savanes de la zone cotonnière.

Il faut donc admettre que la fumure utilisée ne peut à elle seule conserver la fertilité à moyen terme, ou à long terme dans les cas des sols les mieux pourvus.

DEUXIÈME PARTIE

Le cultivateur dispose de plusieurs moyens pour maintenir le complexe absorbant et le pH du sol, ou pour les redresser lorsque les pratiques culturales, en particulier l'apport d'engrais concentrés, les ont dégradés. Il est possible de réduire les apports d'éléments N, P et K sous forme d'engrais minéraux, et de limiter en même temps les pertes en calcium et en magnésium du sol sans réduire le niveau d'intensification de la culture; comme mesures adéquates, on peut citer les restitutions organiques sous forme brute ou élaborée, l'association de l'élevage à l'agriculture et une intégration plus poussée des légumineuses dans les rotations; on peut faire remarquer que ces différentes mesures se complètent utilement, l'élevage nécessitant des légumineuses fourragères, tandis que le pâturage et le piétinement facilitent la restitution des résidus de cultures en les transformant partiellement. Cet ensemble de procédés agronomiques, qui permet une meilleure économie du calcium et du magnésium, est également bénéfique pour d'autres caractéristiques du sol, en particulier pour sa structure et son taux de matière organique: or, CLYDE *et al.* (1970) ont montré que les plantes supportaient beaucoup mieux les bas pH et les teneurs élevées en aluminium échangeable dans les sols « organiques » que dans les sols « minéraux ».

Toutefois, on peut penser, comme beaucoup d'autres, que les apports calco-magnésiens deviendront indispensables en Afrique tropicale, comme ils le sont dans les pays où l'agriculture est plus ancienne et plus intensive, soit pour compléter les mesures que l'on vient de citer, soit pour s'y substituer partiellement en attendant qu'elles soient appliquées, puisqu'elles nécessitent des changements dans les structures d'exploitation et dans les habitudes.

Mais la charge financière que représente l'amendement des sols cultivés justifie que l'on examine au préalable le plus grand nombre possible de résultats expérimentaux obtenus en milieu tropical, sans pour autant se croire dispensé d'expérimenter soi-même sur le sujet dans les conditions du milieu.



Fig. 10. — Préparation du sol pour le coton: a - manuelle: après un houage à plat, confection de billons pour le semis.

DONNÉES BIBLIOGRAPHIQUES

De nombreuses données bibliographiques sur les amendements ont été recueillies par PEARSON (1973) et par BOYER (1978). Ce dernier mentionne que, pour des raisons de prix de revient, on doit se contenter souvent de ramener par un premier redressement les caractéristiques du sol à la limite de tolérance des plantes cultivées, puis de les entretenir par des apports ultérieurs: en échelonnant les apports, on



Fig. 11. — Préparation du sol pour le coton.
b - A traction animale (de plus en plus pratiquée): le labour est suivi d'une façon superficielle pour semis mécanique à plat ou d'un billonnage pour semis manuel.

limite les pertes par drainage ainsi que les répercussions sur la minéralisation de la matière organique et sur l'assimilabilité des oligo-éléments. PEARSON fait état d'effets positifs obtenus par de petites quantités d'amendements, de l'ordre de 130 à 500 kg/ha d'équivalents CaCO_3 ; quant à REEVE et SUMNER (1970), ils ont obtenu, sur oxisols du Natal présentant des pH allant de 4,4 à 5, des rendements maximaux en sorgho avec des amendements relativement légers, six fois moindres que la dose théorique nécessaire

pour relever le pH à la neutralité et suffisants pour le contrôle du taux d'Al échangeable.

Il est important de connaître les limites de réponse à l'amendement fournies par la littérature: ces limites, déterminées par des essais de doses croissantes d'amendement, sont souvent basées sur des valeurs de pH, mais aussi sur d'autres caractéristiques, observées après redressement; elles sont mentionnées dans le tableau 18.

Il apparaît que le pH n'est pas le meilleur indicateur des besoins en amendement. Ainsi, POULAIN (1967) n'observait pas de réponse positive de l'arachide au chaulage dans plusieurs sols acides du Sénégal dont un à pH 4,8: tous ces sols avaient une teneur en Ca échangeable égale ou supérieure à 1,6 meq/100 g et un complexe absorbant saturé à 57 % et plus.

La plupart des auteurs recommandent l'Al échangeable comme critère le plus valable, et certains ont déterminé par des essais les quantités de CaCO_3 nécessaires pour contrôler les taux d'Al: ainsi, KAMPATH (1970), travaillant sur quatre ultisols de Caroline du Nord assez différents au point de vue teneurs en matière organique et en bases échangeables, a montré qu'il fallait en CaCO_3 , 1,5 à 2 fois l'équivalent de l'Al échangeable pour abaisser son taux de saturation à 15 %, les taux initiaux allant de 54 à 82 %; quant à REEVE et SUMNER (1970), ils ont montré que, dans sept oxisols du Natal présentant des caractéristiques assez variées, il fallait 1 meq de CaCO_3 pour réduire de 0,3 meq la teneur en Al échangeable; enfin, TRINH (1977) estime qu'il faut deux fois plus d'équivalents CaCO_3 que la quantité d'Al échangeable présente dans le sol.

Il est donc évident, d'après la bibliographie, que l'on doit déterminer de façon judicieuse les quantités d'amendement, d'autant plus que les pertes par lixiviations de Ca et de Mg sont proportionnelles aux teneurs du sol, et par conséquent aux quantités apportées. C'est ce qui nous a amené à expérimenter

Tableau 18. — Valeurs limites au-delà desquelles la réponse à l'amendement a été nulle ou insignifiante

Caractéristiques du sol	Culture	Conditions	Auteurs
pH < 5,2	Cotonnier	Sols ferrallitiques, Ouganda	FOSTER
pH < 5,5	Maïs	Sols ferrallitiques, Ouganda	FOSTER
pH < 5,86	Soja	Sols ferrallitiques, Ouganda	FOSTER
pH < 5,1	Soja	Latosols, Brésil	FRETAS et al.
pH < 4,5 (1)			
pH < 5,5	Soja	Latosols, Ribeira, Brésil	MASCARENHAS et al.
Al/CEC > 10 %	Cotonnier	Latosols, Sao-Paulo, Brésil	Mc CLUNG et al.
Al échangeable > 1,1 meq/100 g	Soja	Latosols, Brésil	
Ca échangeable < 1,33 meq/100 g	Maïs	Ultisols, Sud Nigeria	SOARES et al.
SBE \times 100/CEC < 60			JUO et BALLAUX (1977)

Cités par PEARSON (1975)

(1) Dans ce cas, l'Al échangeable n'était présent qu'à l'état de traces.

sur d'assez faibles apports de Ca et de Mg, soit inclus dans la fumure annuelle pour entretenir le stock d'un sol encore favorable, soit en quantité plus importante, mais toutefois modeste, pour obtenir un redressement sur un sol fortement désaturé. Nous ne disposons dès à présent de résultats expérimentaux qu'en matière de redressement, et nous les présentons ci-après.

MATÉRIAUX ET MÉTHODES

L'essai de doses croissantes de fumure de Korhogo, décrit dans la première partie, a été poursuivi à partir de l'année 1976 en ajoutant des doses de dolomie croissant avec les doses d'engrais et en restituant au sol tous les résidus de culture. Les apports sont mentionnés dans le tableau 19. La dolomie a été choisie à cause de ses apports combinés de Ca et de Mg, puisque la teneur en ce dernier élément se trouvait encore plus fortement diminuée que la teneur en Ca, et que le rapport Mg/K s'était considérablement dégradé sous l'action des fumures (tableau 4). BOYER (1976) recommande en effet d'apporter les deux éléments, pour ne pas entraîner de déséquilibre Ca/Mg.

La dolomie utilisée contient de 28 à 33 % de CaO et de 18 à 23 % de MgO, sous forme de carbonates.

En 1976, l'amendement consistait en un redressement correspondant à 2 kg de dolomie par kg d'azote cumulé dans les fumures depuis la remise en culture. En 1977, on apportait un léger amendement d'entretien. En 1978, le redressement était complété pour que le cumul des apports de dolomie compense les acidifications théoriques données pour les différents engrais azotés employés, y compris ceux entrant dans la composition des complexes; ces acidifications sont exprimées, dans le « Mémento de l'Agronome » (1974) en kg d'équivalents CaCO_3 .

nécessaires pour neutraliser l'effet de 100 kg d'engrais, à savoir : 110 pour le sulfate d'ammoniaque, 88 pour le phosphate diammonique et 75 pour l'urée. Le niveau de fumure 3 aurait ainsi théoriquement provoqué une acidification cumulée correspondant à 2270 kg/ha d'équivalent CaCO_3 , et c'est à peu près cette quantité totale que l'on a apportée sous forme de dolomie au cours des trois dernières années. Notons qu'elle correspond approximativement à 4 kg de dolomie par kg d'azote engrais cumulé.

RÉSULTATS ET DISCUSSION

Les rendements en coton-graine obtenus après amendement sont présentés dans le tableau 20 et sur la figure 12, en regard des rendements obtenus avant amendement; le rapport rendement/hauteur des cotonniers est présenté dans le tableau 21 et sur la figure 13.

On peut considérer que l'efficacité de la fumure minérale obtenue en 1977 aux niveaux 2 et 3 est redevenue normale, puisqu'elle est supérieure à l'efficacité moyenne obtenue sur les 8 essais de l'ensemble du dispositif (tableaux 5 et 6). A noter qu'en 1978, l'efficacité est encore meilleure qu'en 1977, peut-être en raison de l'amendement complémentaire. D'autre part, la fumure aux niveaux 2 et 3 a agi davantage sur le rendement que sur la hauteur des cotonniers, contrairement à ce qui se passait avant amendement.

Quant à la correction sur les caractéristiques du sol, elle est appréciée en comparant les résultats d'analyses de février 1976 (avant amendement) et de février 1978, qui sont présentés dans le tableau 22.

Notons que les derniers prélèvements de sol pour analyses ont été faits avant l'amendement complémentaire de 1978.

Tableau 19. — Quantités d'engrais et de dolomie apportées sur l'essai de Korhogo en 1976, 1977 et 1978, en kg/ha

Année	Culture	Nature	Niveau de fumure		
			1	2	3
1976	Maïs	Complexe 12-15-18	125	250	375
		Sulfate d'ammoniaque	35	70	105
		Dolomie	250	500	750
1977	Coton	Complexe 10-18-18	150	300	450
		Urée	35	70	105
		Dolomie	30	60	90
1978	Coton	Complexe 10-18-18	150	300	450
		Urée	35	70	105
		Dolomie	450	900	1 350

Tableau 20. — Rendements obtenus avant et après amendement (en kg/ha) et efficience de la fumure (en kg de coton-graine par unité fertilisante), sur l'essai de Korhogo

Niveau de fumure	Avant amendement		Après amendement (1)	
	1974	1975	1977	1978
	Rendement (efficience)	Rendement (efficience)	Rendement (efficience)	Rendement (efficience)
0	511 b (2)	594 b	746 d	402 d
1	1 116 a (7,66)	1 184 a (7,02)	1 307 c (6,60)	1 121 c (8,46)
2	1 085 a (3,65)	1 228 a (3,77)	1 736 b (5,82)	1 779 b (8,10)
3	1 017 a (2,14)	1 153 a (2,23)	2 147 a (5,49)	2 159 a (6,89)

(1) En 1976, l'essai était cultivé en maïs.

(2) Les chiffres suivis de la même lettre ne sont pas différents à $P = 0,05$.

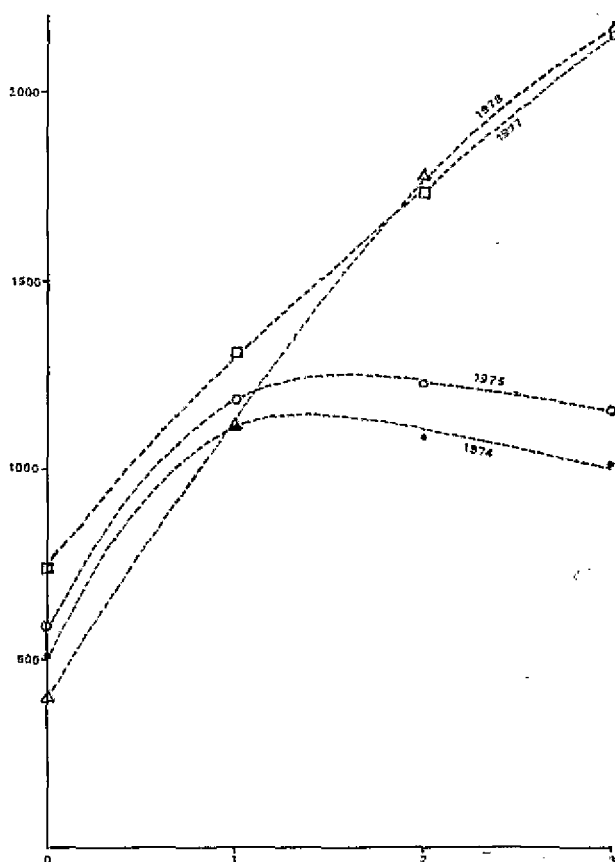


Fig. 12. — Rendements en coton obtenus suivant le niveau de fumure sur l'essai de Korhogo (en 1974 et 1975 avant amendement; en 1977 et 1978 après amendement).

Sur le pH, les différences très nettes observées d'un niveau à l'autre, en 1976, ont presque disparu en 1978; ; sur les teneurs en Ca et Mg échangeables, les différences se sont inversées, de même que sur les taux de saturation du complexe absorbant.

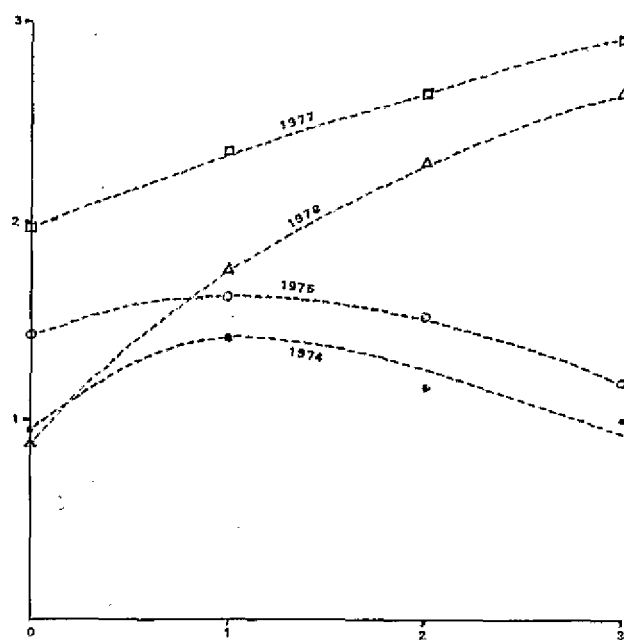


Fig. 13. — Rapport rendement/hauteur des cotonniers suivant le niveau de fumure sur l'essai de Korhogo (en 1974 et 1975 avant amendement; en 1977 et 1978 après amendement).

La teneur en Mg échangeable et le rapport Mg/K dans le sol recevant la fumure se sont redressés de 1976 à 1978 et sont supérieurs aux limites inférieures indiquées dans les tableaux 14 et 15. Toutefois, le redressement opéré sur la teneur en Ca échangeable et sur le rapport $(SBE)/(A + L)$ ne les amène pas encore aux limites inférieures indiquées dans le tableau 13.

Quant à la teneur en Al échangeable au niveau de fumure 3, et sa part dans le total des cations, celles-ci ont considérablement baissé, alors qu'avant amendement elles dépassaient les seuils de toxicité, tout au moins ceux indiqués pour le cotonnier et le soja.

Tableau 21. — *Rapport rendement/hauteur des cotonniers avant et après amendement (en t/ha/m) sur l'essai de Korhogo*

Niveau de fumure	Avant amendement		Après amendement	
	1974	1975	1977	1978
0	0,90	1,43	1,96	0,87
1	1,42	1,61	2,35	1,75
2	1,17	1,51	2,64	2,29
3	1,02	1,19	2,91	2,63

Tableau 22. — *Comparaison des caractéristiques du sol analysées sur l'essai de Korhogo, avant et après amendement, sur différents niveaux de fumures*

Caractères	Février 1976 (avant amendement)		Février 1978 (après amendement)			
	0	3	Niveau de fumure			
			0	1	2	3
pH (eau)	5,00	4,50	5,50	5,35	5,30	5,40
Ca échangeable (meq/100 g)	0,72	0,40	0,52	0,45	0,43	0,70
Mg échangeable (meq/100 g)	0,32	0,10	0,34	0,35	0,33	0,48
K échangeable (meq/100 g)	0,075	0,12	0,115	0,11	0,12	0,15
Na échangeable (meq/100 g)	0,04	0,03	0,025	0,025	0,02	0,01
Somme des b.e (meq/100 g)	1,155	0,635	0,99	0,935	0,90	1,34
CEC	3,90	3,45	3,85	3,85	3,95	4,00
S/T (%)	29,6	18,4	25,7	24,3	22,8	33,5
Al échangeable (meq/100 g)	0,05	0,30	0,08	0,11	0,15	0,10
Mg/K	4,27	0,84	2,96	3,18	2,75	3,20
(SBEF/(A + L))	0,08	0,025	0,06	0,05	0,05	0,11
Al × 100/CEC	1,30	8,82	2,08	2,86	3,80	2,50
Al × 100/(Al + SBE)	4,31	31,58	7,48	10,70	13,96	7,01

Tableau 23. — *Proportions respectives des cations majeurs du sol, en % de la somme Ca + Mg + K échangeable*

Conditions	Ca	Mg	K
Korhogo, avant amendement			
Niveau 0	65	29	6
Niveau 3	65	16	19
Korhogo, 1978, après amendement			
Niveau 0	53	35	12
Niveau 1	49	38	13
Niveau 2	49	38	13
Niveau 3	53	37	10
Balances satisfaisantes, d'après BOYER (1978)			
Soils ferrallitiques (cultures diverses)	63-65	29-32	3-8
Soils tempérés (toutes cultures)	75-80	10-15	3-6



Fig. 14. — Aspect d'une culture de coton sur un sol désaturé.

Le redressement apparaissant plus net pour le magnésium que pour le calcium, on peut se demander si la dolomie est la forme d'amendement la plus indiquée dans le cas de Koriogo, puisque après amendement les balances cationiques apparaissent déficitaires en Ca, comparées, comme dans le ta-

bleau 23, à celles indiquées par BOYER (1978) comme étant satisfaisantes, sinon optimales.

C'est ce qu'il faudra évaluer en poursuivant cette étude dans le temps, mais on peut considérer que les besoins en Mg devraient rester très importants, comparés aux besoins en Ca : en effet, d'après BOYER (1978), les pertes par drainage sont plus fortes en Mg qu'en Ca en sols fortement désaturés (c'est ici le cas), tandis qu'en sols bien saturés, c'est l'inverse : d'autre part, de nombreux auteurs, entre autres DUPONT de DINECHIN (1967), DEAT *et al.* (1976), ont montré que les exportations par les récoltes de coton, céréales et arachide sont nettement plus élevées en Mg qu'en Ca, à l'inverse des résidus de cultures, lesquels sont entièrement incorporés depuis la fin de 1976, dans le cas de cet essai.

CONCLUSION

Des amendements proportionnels aux doses de fumure et calculés sur la base de 2 kg de dolomie par kg d'azote-engrais cumulé, ont opéré un redressement très net des teneurs du sol en Ca et Mg échangeables (toutefois insuffisant théoriquement) et une réduction très sensible des teneurs en Al échangeable ; en outre, ces amendements ont redressé de façon spectaculaire la courbe de rendements en fonction des doses d'engrais, à plus forte raison après des amendements plus importants correspondant à 4 kg de dolomie par kg d'azote-engrais cumulé.

BIBLIOGRAPHIE

- ADAMS F., R.W. PEARSON and B.D. DOSS, 1967. — Relative effects of acid subsoils on cotton yields in field experiments and on cotton roots in growth-chamber experiments. *Agron. J.*, 59, 5, 453-456.
- BOYER J., 1976. — L'aluminium échangeable : incidences agronomiques, évaluation et correction de sa toxicité dans les sols tropicaux. *Calc. O.R.S.T.O.M. série Pédologie*, 14, 4, 259-269.
- BOYER J., 1978. — Le calcium et le magnésium dans les sols des régions tropicales humides et sub-humides. *Initiations-Documents techniques*, 35, O.R.S.T.O.M., Paris, 173 p.
- CLYDE, E. EVANS and E.J. KAMPRATH, 1970. — Lime response as related to percent Al saturation, solution Al, and organic matter content. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 34, 893-896.
- DEAT M., J. DUBERNARD, A. JOLY et G. SEMENT, 1976. Exportations minérales du cotonnier et de quelques cultures tropicales en zone de savane africaine. *Cot. Fib. trop.*, 31, 4, 409-418.
- DOSS B.D. and Z.F. LUND, 1975. — Subsoil pH effects on growth and yield of cotton. *Agron. J.*, 67, 193-196.
- DUPONT DE DINECHIN M., 1967. — Contribution à l'étude des exportations du maïs et du sorgho en Haute-Volta. *Colloque sur la fertilité des sols tropicaux, Tananarive, Madagascar*, 1, 523-543.
- FOY C.D., W.R. ARMIGER, A.L. FLEMING and C.F. LEWIS, 1967. — Differential tolerance of cotton varieties on acid soil high in exchangeable aluminium. *Agron. J.*, 59, 5, 415-418.
- JUO A.S.R. and J.C. BALLAUX, 1977. — Retention and leaching of nutrients in a limed ultisol under cropping. *Soil Sci. Soc. Amer.* 41, 4, 757-761.
- KAMPRATH E.J., 1970. — Exchangeable aluminium as a criterion for liming leached mineral soils. *Proc. Soil Sci. Soc. Amer.*, 34, 2.
- MINISTERE DE LA COOPERATION, 1974. — *Mémento de l'agronome*, 2^e édition, 1591 p.
- PEARSON R.W., 1975. — Soil acidity and liming in the humid tropics. *Cornell intern. Agric. Bull.*, 30.
- PIERI C., 1976. — L'acidification d'un sol Dior cultivé du Sénégal et ses conséquences agronomiques. *Agron. trop.*, 31, 3, 245-253.

- PIERI C., 1976. — L'acidification des terres de culture exondées au Sénégal. *Agron. trop.*, 31, 4, 339-368.
- POULAIN J.F., 1967. — Résultats obtenus avec les engrais et les amendements calciques. Acidification des sols et corrections. *Colloque sur la fertilité des sols tropicaux*, Tananarive, Madagascar, 1, 469-489.
- REEVE N.G. and M.E. SUMNER, 1970. — Lime requirements of Natal oxisols based on exchangeable aluminium. *Proc. Soil Sci. Soc. Amer.*, 34, 4, 595-598.
- SANCHEZ P.A., 1976. — Properties and management of soils in the tropics. *Wiley and Sons*.
- SEMENT G., P. FONTENAY, 1976 et 1977. — Rapports annuels, Recherche d'accompagnement, campagnes 1975 et 1976 (non publié), I.R.C.T.-C.I.D.T. Bouaké.
- TRINH S., 1977. — Essais d'élimination de l'aluminium échangeable par application d'engrais : $\text{PO}_4\text{H}_2\text{K}$, KNO_3 , CaO . *Cah. O.R.S.T.O.M., série Pédologie*, 15, 2, 191-198.
- VELLY J., 1974. — Observation sur l'acidification de quelques sols de Madagascar. *Agron. trop.*, 29, 12, 1249-1262.

SUMMARY

The middle term effects of increasing fertilizer rates were measured on ferrallitic soils in Ivory Coast which were of very variable quality, in particular for levels of organic matter, total nitrogen and exchange complex. On this set of soils, including the richest, the amounts of exchangeable Ca and Mg and the pH are inversely proportional to the rates of fertilizer applied, and when the pH went below 5, amounts of exchangeable Al went beyond toxicity levels generally given in literature for certain annuals, including the cotton plant.

It was also noted that losses in exchangeable Ca

and Mg are greater the richer the soil may be in these elements. In the case of poor savanna land, the fertilizer efficiency for cotton plants lessened after 5 or 6 years, and even in the second year of cultivation in a very poor soil.

In this soil, relatively light treatments, corresponding to 2 or 4 kg of dolomite per kg of accumulated nitrogen fertilizer, had the effect of correcting levels of exchangeable Ca and Mg, lowering amounts of exchangeable Al, and raising in a quite spectacular way the efficiency of fertilizers.

RESUMEN

Los efectos a plazo medio de dosis de crecientes abonos fueron medidos en suelos ferralíticos de la Costa de Marfil, con calidades muy variables, en particular en cuanto se refiere a los contenidos de materias orgánicas y nitrógeno total, así como complejo absorbente. En este conjunto de suelos, incluidos los más ricos, los contenidos de Ca y Mg intercambiables y el pH son inversamente proporcionales a las dosis de abonos aplicadas y cuando el pH desciende por debajo de 5, los contenidos de Al intercambiable rebasan los umbrales de toxicidad corrientemente admitidos en la literatura para ciertas plantas anuales, entre las cuales el algodón.

Se observa también que las pérdidas de Ca y Mg intercambiables son tanto mayores que los suelos son ricos en estos elementos. En el caso de las sabanas pobres, la eficiencia de los abonos en el algodón disminuye al cabo de 5 a 6 años e incluso a partir del 2º año de nueva puesta en cultivo en el caso de un suelo muy degradado.

En el caso de éste, correcciones relativamente bajas, correspondientes a 2 kg y 4 kg de dolomía por kg de nitrógeno-abono acumulado, tuvieron por efecto rectificar los contenidos de Ca y Mg intercambiables, disminuir los contenidos de Al intercambiable y aumentar de una manera espectacular la eficiencia de los abonos.